

日 本 国 特 許 庁
JAPAN PATENT OFFICE

別紙添付の書類に記載されている事項は下記の出願書類に記載されている事項と同一であることを証明する。

This is to certify that the annexed is a true copy of the following application as filed with this Office

出 願 年 月 日

Date of Application:

2002年10月 9日

出 願 番 号

Application Number:

特願2002-296652

[ST.10/C]:

[JP2002-296652]

出 願 人

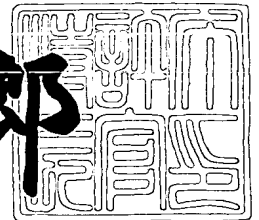
Applicant(s):

本田技研工業株式会社

2003年 6月 5日

特 許 庁 長 官
Commissioner,
Japan Patent Office

太田信一郎



出証番号 出証特2003-3043781

【書類名】 特許願

【整理番号】 H102289001

【提出日】 平成14年10月 9日

【あて先】 特許庁長官 殿

【国際特許分類】 B62D 6/00
B62D 5/04

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号
 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 向 良信

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号
 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 浜本 恭司

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号
 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 堀井 宏明

【発明者】

 【住所又は居所】 埼玉県和光市中央1丁目4番1号
 株式会社本田技術研究所内

 【氏名】 渡辺 和久

【特許出願人】

 【識別番号】 000005326

 【氏名又は名称】 本田技研工業株式会社

【代理人】

 【識別番号】 100064414

 【弁理士】

 【氏名又は名称】 磯野 道造

【電話番号】 03-5211-2488

【手数料の表示】

【予納台帳番号】 015392

【納付金額】 21,000円

【提出物件の目録】

【物件名】 明細書 1

【物件名】 図面 1

【物件名】 要約書 1

【包括委任状番号】 9713945

【プルーフの要否】 要

【書類名】 明細書

【発明の名称】 電動パワーステアリング装置

【特許請求の範囲】

【請求項 1】

ステアリング系の操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、
前記ステアリング系に操舵補助力を与える電動機と、
この電動機の駆動電流を検出する電動機電流検出手段と、
前記操舵トルク検出手段が検出する操舵トルクに基づいて前記電動機を駆動する目標電流を設定する目標電流設定手段と、

この目標電流設定手段が設定する目標電流と前記電動機電流検出手段が検出する電動機駆動電流の偏差に応じてフィードバック制御を行うフィードバック制御部と、

前記目標電流に応じてフィードフォワード制御を行うフィードフォワード制御部とを有する電動パワーステアリング装置において、

前記フィードフォワード制御部のフィードフォワード制御のゲインを車速が早いほど大きくすることを特徴とする電動パワーステアリング装置。

【請求項 2】

前記フィードバック制御部のフィードバック制御のゲインを車速が早いほど大きくすることを特徴とする請求項 1 に記載の電動パワーステアリング装置。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】

本発明は、電動機のパワーをステアリング系に直接作用させてドライバの操舵力を軽減する電動パワーステアリング装置に関する。

【0002】

【従来の技術】

車両の転舵輪を転舵する運転操作装置として、ステアリング系にモータ（電動機）を備え、モータから供給する動力を、制御装置を用いて制御することにより、ドライバの操舵力を軽減する電動パワーステアリング装置が知られている。

【 0 0 0 3 】

この電動パワーステアリング装置は、モータの駆動を制御するために、まず、ECU（制御装置）が操舵トルクや車速などに応じてモータに供給する目標電流を設定し、これをモータに流れる実電流と比較する。そして、比較した値である偏差を処理してモータを制御するようにしている。

【 0 0 0 4 】

ところで、ECUは電動パワーステアリング装置の制御を司るIC（マイコン）を有し、マイコンは操舵トルクに応じた目標電流と実際にモータに流れる実電流が一致するように、換言すると偏差がゼロになるように処理して、電流フィードバックを行う。ECUおよびマイコンを含んで構成される電流フィードバックループ内には、前記した偏差の値を素早くゼロにして応答性を高めるため、例えばPID機能などを備えており、目標電流に対する電流変化の追従性を向上させている。

【 0 0 0 5 】

しかしながら、このようなフィードバック制御だけではモータ電流の変化の応答性は必ずしも充分とはいえない。このため、偏差に応じてモータ駆動信号を大きくするフィードバック制御に加えて、目標電流に応じてモータ駆動信号を大きくするフィードフォワード制御を設けることで（2自由度制御）、操舵の応答性を向上する手法が用いられる（例えば特許文献1、特許文献2参照）。

このフィードフォワード制御は、目標電流に基づくフィードフォワード制御要素を生成し、直接出力するためのもので、例えば、目標電流が小さいときには目標電流に比例した値をモータ駆動信号として生成し、モータを駆動するモータ駆動回路に出力する。これにより、フィードバック制御だけの場合よりも操舵の応答性を高めることができる。

【 0 0 0 6 】

【特許文献1】

特開2002-234457号公報（第2-3頁、第1図）

【特許文献2】

特開2001-287658号公報（第4-5頁、第2図）

【 0 0 0 7 】

【発明が解決しようとする課題】

しかしながら、このようにフィードフォワード制御とフィードバック制御を行う系で応答性を向上させようとしてフィードフォワード制御の利得を上げるとステップ操舵入力に対してオーバシュートが発生し、これにより電流が急に大きくなって、モータなどの装置の発熱やリレー接点の溶着などの問題が発生する。なお、ステップ操舵入力は、例えば低車速時におけるラックエンドへの突き当てが生じた場合、高車速時では遠心力が大きく作用しているときに遠心力に反する方向に急に操舵する場合に生じる。

一方で、逆に安定性を増すためにフィードフォワードの利得を下げるなどの措置を講じると、操作の応答性が低下し操舵フィーリングが悪化する。さらに、一旦オーバシュートや振動などが発生した場合は収束性が悪く、なかなかオーバシュートや振動などが収まらないという問題が発生する。つまり、応答性と安定性とはトレードオフの関係になっている。

また、フィードバック制御では利得を上げると系に固有振動が発生しやすいという問題がある。

【 0 0 0 8 】

本発明はこの問題を解決して、応答性が必要な場合には応答性が得られ、かつ、固有振動の発生がなく安定性も兼ね備えた電動パワーステアリング装置の実現を課題とする。

【 0 0 0 9 】

【課題を解決するための手段】

前記の課題を解決するため本発明の請求項 1 の発明は、ステアリング系の操舵トルクを検出する操舵トルク検出手段と、ステアリング系に操舵補助力を与える電動機と、この電動機の駆動電流を検出する電動機電流検出手段と、前記操舵トルク検出手段が検出する操舵トルクに基づいて前記電動機を駆動する目標電流を設定する目標電流設定手段と、この目標電流設定手段が設定する目標電流と前記電動機電流検出手段が検出する電動機駆動電流の偏差に応じてフィードバック制御を行うフィードバック制御部と、前記目標電流に応じてフィードフォワード制

御を行うフィードフォワード制御部とを有する電動パワーステアリング装置において、前記フィードフォワード制御部のフィードフォワード制御のゲインを車速が早いほど大きくすることを特徴とする。

これにより、車速の遅い（低い）ところで発生しやすいオーバシュートを押さえて安定性を増すことができ、車速の早い（高い）ところでは、高速応答性を高くして操作性を向上し、振動の収束性を上げることができる。

【 0 0 1 0 】

また、本発明の請求項 2 の発明は、前記フィードバック制御部のフィードバック制御のゲインを車速が早いほど大きくすることを特徴とする。

これにより、車速が遅い時に生まれやすい固有振動の発生を押さえることができ、その分安定性を増すことができる。

【 0 0 1 1 】

【発明の実施の形態】

本発明の電動パワーステアリング装置の実施形態を、図面を参考にして詳細に説明する。図 1 に電動パワーステアリング装置の模式構造図を、図 2 に電動パワーステアリング装置の制御装置のブロック図を示す。

【 0 0 1 2 】

まず、電動パワーステアリング装置 E P S の構造部分を、図 1 を参照して説明する。

図 1 において、符号 1 はステアリングホイール（ハンドル）、符号 2 はステアリング軸、符号 3 は連結軸、符号 3 a、3 b は自在継手、符号 5 はラック・ピニオン機構、符号 5 a はピニオン、符号 6 は手動操舵トルク発生機構、符号 7 はラック軸、符号 7 a はラック歯、符号 8 はタイロッド、符号 9 は前輪、符号 1 0 はモータ（電動機）、符号 1 0 a は駆動側ヘリカルギヤ、符号 1 1 はボールねじ機構、符号 1 1 a はねじ軸、符号 1 1 b はヘリカルギヤ、符号 1 2 は手動操舵トルク検出部、符号 1 4 は制御装置である。

【 0 0 1 3 】

電動パワーステアリング装置 E P S では、ステアリングホイール 1 に一体に設けられたステアリング軸 2 に、自在継手 3 a、3 b を有する連結軸 3 を介してラ

ック・ピニオン機構 5 のピニオン 5 a が連結されることによって、手動操舵トルク発生機構 6 が構成されている。

【 0 0 1 4 】

また、電動パワーステアリング装置 E P S では、ピニオン 5 a に噛み合うラック歯 7 a を有し、この噛み合いにより運動が軸方向に変換されて往復運動するラック軸 7 は、その両端でタイロッド 8 を介して転動輪としての左右の前輪 9 に連結されている。ドライバがステアリングホイール（ハンドル） 1 を操作することにより、手動操舵トルク発生機構 6 とステアリング装置を介して、前輪 9 を揺動させ車両の向きを変えることができる。

【 0 0 1 5 】

ところで、手動操舵トルク発生機構 6 によって発生する操舵トルクを軽減してドライバの操舵を容易にするために、操舵補助トルクを供給するモータ 1 0 が、例えば、ラック軸 7 と同軸的に配設されている。そうしてラック軸 7 とほぼ平行に設けられたボールねじ機構 1 1 を介してモータ 1 0 からの回転力によって供給される操舵補助トルクが直進運動のための力に変えられ、ラック軸 7 に作用する。

【 0 0 1 6 】

モータ 1 0 のロータには、駆動側ヘリカルギヤ 1 0 a が一体的に設けられている。この駆動側ヘリカルギヤ 1 0 a は、ボールねじ機構 1 1 のねじ軸 1 1 a の軸端に一体的に設けられたヘリカルギヤ 1 1 b と噛み合っている。また、ボールねじ機構 1 1 のナットはラック軸 7 に連結されている。これにより、ドライバの操舵力がモータによりアシストされ前輪 9 を揺動・転舵する。

【 0 0 1 7 】

次に、センサ類を説明する。

図示しないステアリングギヤボックス内には、ピニオン 5 a に作用する手動操舵トルク T を検出する手動操舵トルク検出部（操舵トルクセンサ） 1 2 が設けられている。この手動操舵トルク検出部 1 2 は検出した手動操舵トルク T を手動操舵トルク検出信号 T d に変換し、変換された手動操舵トルク検出信号 T d を制御装置 1 4 に入力する。制御装置 1 4 は手動操舵トルク検出信号 T d を入力信号と

してモータ 10 の運転を行って、モータ 10 の出力する動力（操舵補助トルク）を制御する。また、電動パワーステアリング装置 EPS は、モータ 10 に流れる電動機駆動電流（モータ実電流 y ）を検出する図示しない電動機電流検出手段（電流センサ）が設けられている。

【 0 0 1 8 】

電動パワーステアリング装置 EPS の制御装置 14 を、図 2 を参照して説明する。

図 2 は、電動パワーステアリング装置 EPS の制御装置 14 のブロック図である。御装置 14 は図示しない IC（マイコン）および周辺回路から構成され、マイコンが図示しない ROM に書き込まれたプログラムを読み出すことにより該プログラムの各モジュール（後記する目標電流決定部 16 など）を実行して、電動パワーステアリング装置 EPS の制御を行う。また、制御装置 14 は、電動パワーステアリング装置 EPS の制御を行うため、各種信号・情報・指令などを入出力する入出力ポート、アナログ信号をデジタル信号に変換してマイコンでデジタル処理するための AD 変換器、マイコンが処理したデジタル信号をアナログ信号に変換する DA 変換器などを備える。

【 0 0 1 9 】

図 2 に示すように、制御装置 14 はモータ 10 の電流信号を目標値として電流信号を発生する目標電流決定部 16 と、この目標値に基づいてモータを駆動制御する制御部 17 を備えている。目標電流決定部 16 は手動操舵トルク検出信号 T_d に基づいて目標補助トルクを決定し、目標補助トルクをモータ 10 から供給するために必要な目標電流 r を出力する。なお、図 2 の目標電流決定部 16 に模式的に示すように、目標電流 r は、手動操舵トルク検出信号 T_d に対して、手動操舵トルク検出信号 T_d が 0 近傍では 0 が対応づけられ（不感帯の設定）、所定の手動操舵トルク検出信号 T_d 以上になると手動操舵トルク検出信号 T_d の増加に従って増加する値が対応づけられる。なお、この目標電流 r は、車速に対して、路面反力の大きい低車速時は大きい値を対応づけ、走行時の安定性を確保するために高車速時は小さい値を対応づけるようにしてもよい。

【 0 0 2 0 】

続いて、図 2 の制御部 1 7 を、図 3 を参照してより詳細に説明する。

図 3 は制御部 1 7 の機能を示すブロック図である。この図 3 に示すように、制御部 1 7 はフィードフォワード機能部 2 1 とフィードバック機能部 2 2 と加算器 2 9 を含んで構成され、フィードバック機能部 2 2 は偏差演算器 2 3、減衰器回路（アッテネータ）2 4、比例要素 2 5、積分要素 2 6、微分要素 2 7、加算器 2 8 を含んで構成されている。

【 0 0 2 1 】

偏差演算器 2 3 では、目標電流値 r とモータ実電流 y との偏差 e を演算する。この偏差 e は減衰器回路 2 4 で増幅（減衰）された後に、比例要素 P（Proportional）2 5、積分要素 I（Integral）2 6、および微分要素 D（Differential）2 7 でそれぞれ処理を施されたのち、処理値は加算器 2 8 で加算され、この値がさらに加算器 2 9 でフィードフォワード機能部 2 1 出力と加算されて、偏差 e を 0 とするようなモータ駆動信号 u としてモータ 1 0（図示しないモータ駆動回路）に出力される。このように、フィードバック機能部 2 2 に P I D 機能を備えることで目標電流 r に対する電流変化の追従性を向上させている。

【 0 0 2 2 】

しかしながら、このようなフィードバック機能部 2 2 に基づく制御だけではモータ電流の変化の応答性は必ずしも充分とはいえない。例えば、PWM 信号のデューティ比を変えてモータ電流を制御するような場合、デューティ比が小さなところではモータ電流の変化の割合が極端に小さく、デューティ比が所定の値を超えたところで大きくなる傾向があり、このような傾向は、操舵の応答性を押さえることになる。

【 0 0 2 3 】

これを逃れるため、本実施形態では、目標電流 r に応じてモータ駆動信号 u を大きくするフィードフォワード制御を設けることで操舵の応答性を向上する。

フィードフォワード機能部 2 1 はフィードフォワード制御要素を生成し出力するためのもので、例えば、目標電流 r が小さいときには目標電流 r に比例した値を、目標電流 r に比例する値が所定以上になる場合は一定値を出力する。これにより、操舵の応答性を高めることができる。

【 0 0 2 4 】

ここで、本実施形態ではさらに、操舵の応答性が必要な場合には十分な応答性が得られ、かつ、固有振動の発生がなく十分な安定性も兼ね備えた電動パワーステアリング装置 E P S を実現するため、車速センサ V S を設け、フィードフォワード機能部（制御部） 2 1 におけるフィードフォワード制御のゲインを車速 V が早いほど大きくする制御を行う。また、フィードバック機能部（制御部） 2 2 におけるフィードバック制御のゲインを車速 V が早いほど大きくする。

【 0 0 2 5 】

本発明を具現化した本実施形態での基本的な考え方を図 3 の機能ブロック図に沿って説明する。この機能の基本的な動作は先に述べているので、ここでは本発明に関する部分について説明する。

【 0 0 2 6 】

制御装置 1 4 からモータ 1 0 （モータ 1 0 の駆動回路）に対して出力されるモータ駆動信号 u は、次の式（1）および式（2）に基づいて生成される。

【 0 0 2 7 】

$$u = r \times K_f + A_t \times K_{pid}(s) \quad (1)$$

【 0 0 2 8 】

$$\begin{aligned} K_{pid}(s) &= K_p + K_i / s + K_d s \\ &= K_p (1 + 1 / T_i \cdot s + T_d \cdot s) \end{aligned} \quad (2)$$

【 0 0 2 9 】

ただし、 r は目標電流

K_f はフィードフォワード機能部 2 1 の利得

A_t は減衰器回路 2 4 の利得

$K_{pid}(s)$ は制御手段の伝達関数

K_p は比例要素 2 5 の伝達関数

K_i は積分要素 2 6 の伝達関数

K_d は微分要素 2 7 の伝達関数

$s = j \omega$

$T_i = K_p / K_i$

$T_d = K_d / K_p$ である。

【 0 0 3 0 】

本実施形態では、式（１）でフィードフォワード機能部 2 1 の利得 K_f および減衰器回路 2 4 の利得 A_t を車速 V によって可変にする。

【 0 0 3 1 】

フィードフォワード機能部 2 1 の利得 K_f は、次の式（３）および図 4 に示すように、車速 V に関係しない固定部分 FF_{base} と車速 V に応じて変化する FF_{vel} との和で表されるものとし、さらに FF_{vel} は式（４）に示すように車速 V の遅いところでの車速 V に不感帯の部分 DZ と車速 V に応じて増加する部分と車速 V の早いところでの車速 V に対して一定の $Limit$ 部分とに区別されるものとする。

【 0 0 3 2 】

$$K_f = FF_{base} + FF_{vel} \quad (3)$$

$$FF_{vel} = k (V - DZ) \cdot (< Limit) \quad (4)$$

【 0 0 3 3 】

このようにすることで、ステアリングホイール（ハンドル）1 の操作量が大きく、ハンドルの操作限界まで到達した場合のラックエンド突当てなどで急激な操作トルクの立ち上がり（ステップ入力）が発生しやすい車速 V の低いところでフィードフォワード利得を押さえて、オーバシュートを押さえることができる。一方、操作性が要求される車速 V の高いところではフィードフォワード利得が高いので、高速応答性を高くすることができ、さらに振動の収束性を上げることができる。

【 0 0 3 4 】

また、フィードバック機能部 2 2 に関しては利得を上げると応答性が増すが、系の固有振動が発生して発振するおそれがある。これを逃れるため、減衰器回路 2 4 の利得 A_t を図 5 に示すように車速 V の遅い部分で低くする。これにより、比較的低い周波数で発生しやすい固有振動の発振を押さえることができる。

【 0 0 3 5 】

図 6 は、本発明の制御部でのステップ入力に対する応答を、車速をパラメータ

にして示した図である。ここで縦軸は標準化されたモータ実電流 $y(t) = \text{実電流} / \text{目標電流}$ で、横軸は秒で表された時間経過である。この図の実線で示すように、F/F（フィードフォワード）制御を行わない場合は、オーバシュートが大きく発生すると共に、オーバシュートの収束にも長い時間がかかっている。ここで、F/F制御を行うと、二点鎖線で示すように、オーバシュートが抑制されると共に、発生したオーバシュートが収束する時間も短くなっている。さらに、本実施形態のように車速による可変F/F制御を行うと、破線で示すように、オーバシュートが一層抑制され、発生したオーバシュートが収束する時間もより短くなっている。

【0036】

なお、以上説明した本発明は、前記した実施形態に限定されることなく幅広く変形実施することができる。例えば、前記した実施形態では、フィードフォワード機能部21のフィードフォワード制御のゲイン K_f を車速 V が早いほど大きくする制御と、フィードバック機能部のフィードバック制御のゲイン A_t を車速が早いほど大きくする制御を同時に行ったが、ゲイン K_f だけを車速 V が早いほど大きくする制御のみを行ってもよい。

【0037】

【発明の効果】

以上説明したように本発明によると、フィードフォワード制御部のフィードフォワード制御のゲインを車速が早いところで大きくし、車速が遅いところで小さくし（請求項1）、フィードバック制御部のフィードバック制御のゲインも同様に車速が早い大きくし、車速が遅いところで小さくした（請求項2）。これにより、車速の低いところで発生しやすいオーバシュートや固有振動の発生を押さええて安定性を増すことができ、車速の高いところでは、高速応答性を高くして操作性を向上し、振動の収束性を上げ、安定した操作を行うことができる。

【図面の簡単な説明】

【図1】 電動パワーステアリング装置の模式構造図である。

【図2】 電動パワーステアリング装置の制御装置のブロック図である。

【図3】 図3に示す制御装置の制御部の機能を示すブロック図である。

【図 4】 フィードフォワード機能部の利得の車速に関する変化を示す図である。

【図 5】 フィードバック機能部の減衰器回路の利得の車速に関する変化を示す図である。

【図 6】 本発明の電動パワーステアリング装置のステップ入力に対する応答を示す図である。

【符号の説明】

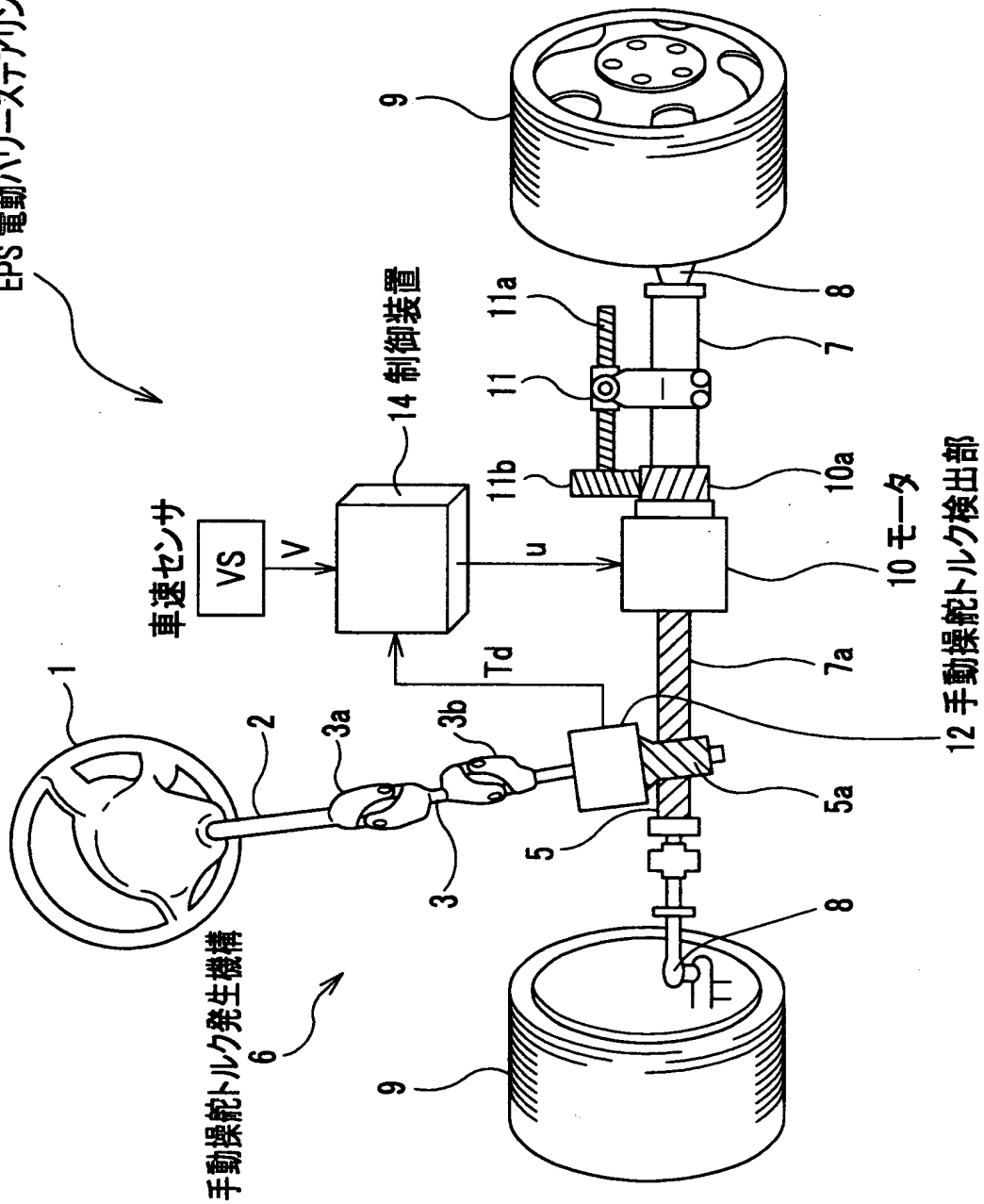
1 …ステアリングホイール、 2 …ステアリング軸、 3 …連結軸、
 3 a、3 b …自在継手、 5 …ラック・ピニオン機構、
 5 a …ピニオン、 6 …手動操舵トルク発生機構、 7 …ラック軸、
 7 a …ラック歯、 8 …タイロッド、 9 …前輪、 1 0 …モータ、
 1 0 a …駆動側ヘリカルギヤ、 1 1 …ボールねじ機構、
 1 1 a …ねじ軸、 1 1 b …ヘリカルギヤ、
 1 2 …手動操舵トルク検出部、
 1 4 …制御装置、 1 6 …目標電流決定部、 1 7 …制御部、
 2 1 …フィードフォワード機能部、 2 2 …フィードバック機能部、
 2 3 …偏差演算器、 2 4 …減衰器回路、 2 5 …比例要素、
 2 6 …積分要素、 2 7 …微分要素、 2 8 …加算器、
 2 9 …加算器、
 E P S …電動パワーステアリング装置
 A t …減衰器回路の利得、 r …目標電流、 T …操舵トルク、
 T d …手動操舵トルク検出信号、 u …モータ駆動信号、
 V …車速、 y …モータ実電流

【書類名】

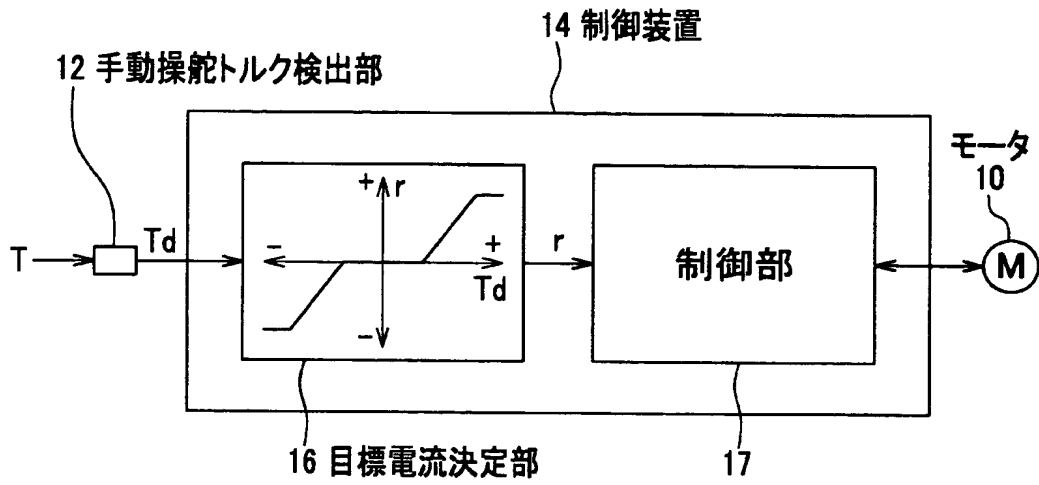
図面

【図 1】

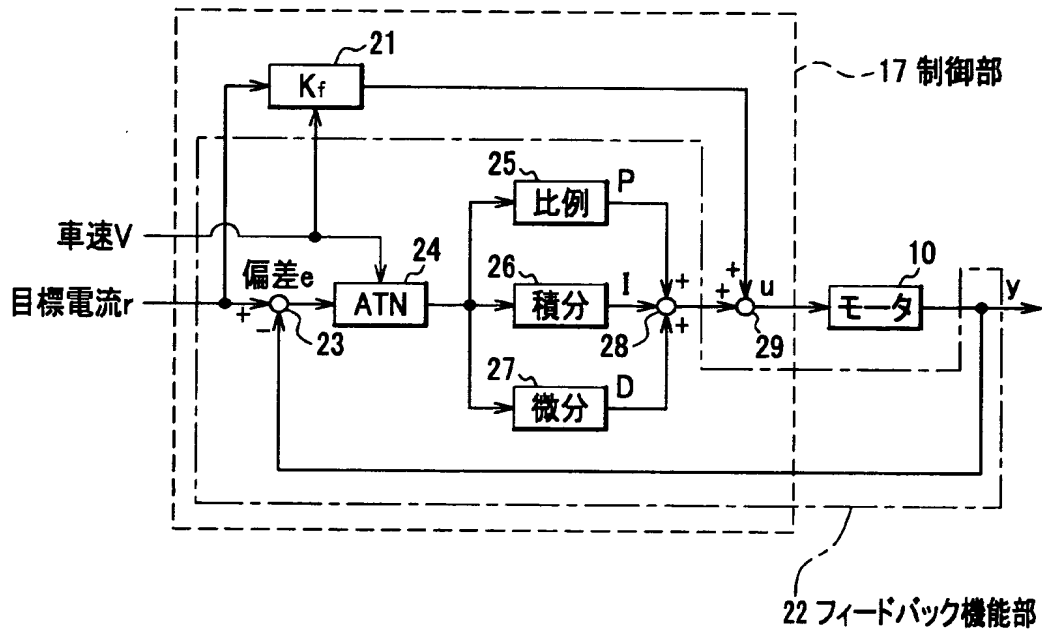
EPS 電動パワーステアリング装置



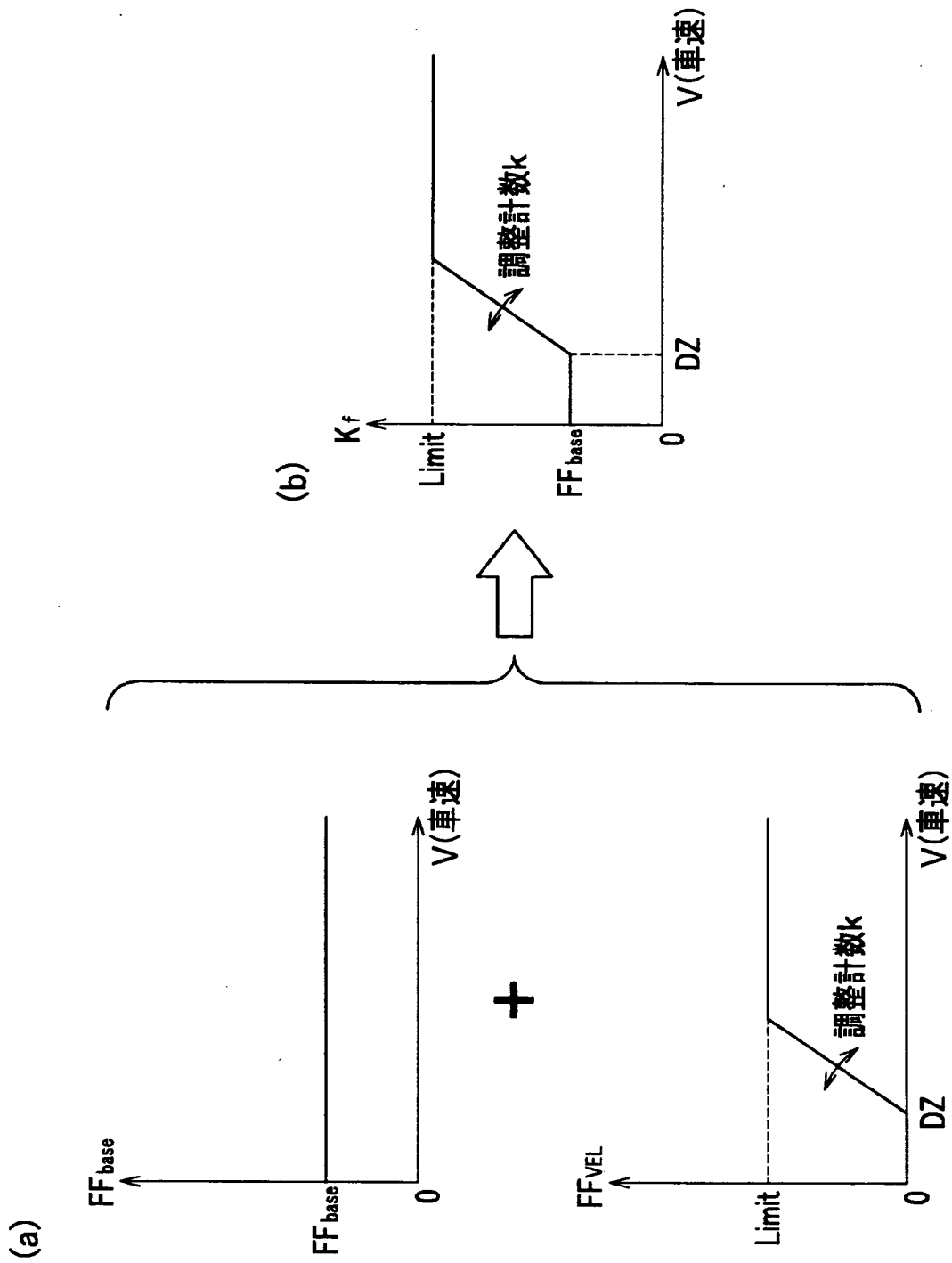
【図 2】



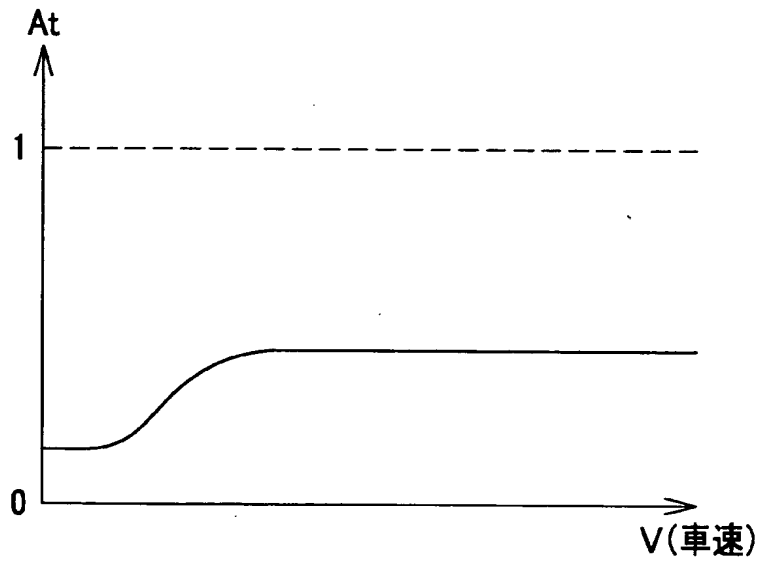
【図 3】



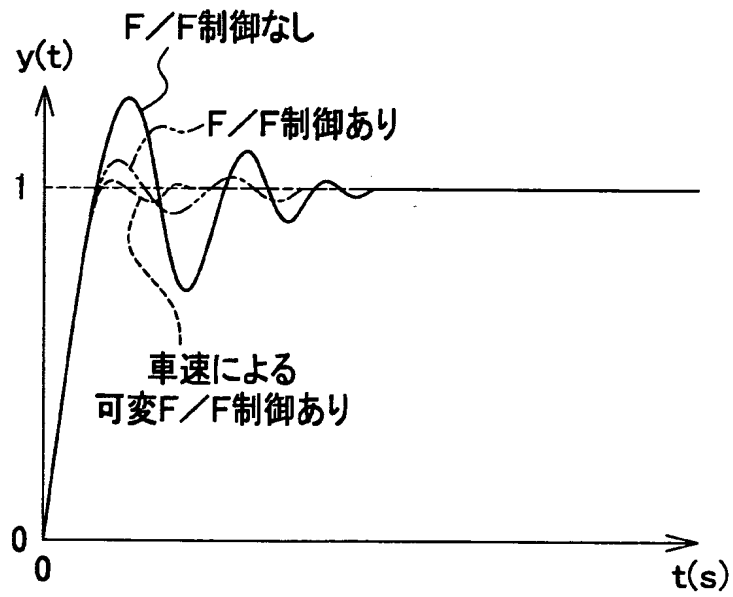
【図 4】



【図 5】



【図 6】



【書類名】 要約書

【要約】

【課題】

応答性が必要な場合には十分な応答性が得られ、かつ、固有振動の発生がなく十分な安定性も兼ね備えた電動パワーステアリング装置の実現を課題とする。

【解決手段】

目標電流 r と電動機駆動電流 y の偏差 e に応じてフィードバック制御を行うフィードバック機能部 22 と、目標電流 r に応じてフィードフォワード制御を行うフィードフォワード機能部 21 とを有する電動パワーステアリング制御装置において、フィードフォワード制御部 21 のフィードフォワード制御のゲインを車速が早いほど大きくすることを特徴とする。

【選択図】

図 3

出 願 人 履 歴 情 報

識別番号 [0 0 0 0 0 5 3 2 6]

1. 変更年月日	1 9 9 0 年 9 月 6 日
[変更理由]	新規登録
住 所	東京都港区南青山二丁目 1 番 1 号
氏 名	本田技研工業株式会社